

## Utilisation du *Global Positioning system* (GPS) pour localiser les grands mammifères sauvages

<sup>1</sup> Georges Janeau, Jean-Marc Angibault, Bruno Cargnelutti, Jean Joachim

**Résumé** : Pour localiser les grands mammifères sauvages étudiés dans notre unité, nous avons choisi en 1996 d'utiliser le *Global Positioning System* (GPS). Ce système a remplacé progressivement la radiolocalisation par VHF<sup>2</sup> employée depuis les années 70. Cet article décrit le principe de fonctionnement du GPS utilisé en mode différentiel ou non, le matériel, l'exactitude des localisations obtenues. Nous présentons ensuite deux exemples de performances de colliers GPS utilisés en mode différentiel. En conclusion nous analysons les principaux problèmes rencontrés et les perspectives d'évolution pour l'utilisation de ce système.

**Mots clés** : animaux sauvages, *Global Positioning System*, GPS, occupation de l'espace.

### Introduction

La localisation des grands mammifères sauvages est une nécessité pour l'étude de leurs déplacements, de leur mode d'occupation de l'espace et de leur utilisation des habitats. L'observation directe ayant ses limites, notamment la nuit et dans les milieux fermés, les biologistes ont eu recours à des méthodes indirectes comme le suivi de traces, la capture (et éventuellement la recapture) des animaux ou leur radiolocalisation par VHF... Mais aucune de ces méthodes ne permet un suivi individuel sur une longue période de nuit comme de jour, et quelles que soient les conditions météorologiques avec une exactitude des localisations telle que celle offerte par le *Global Positioning System* (GPS). C'est au début des années 90 que des biologistes ont commencé à adapter la technologie GPS au suivi des grands mammifères. Des prototypes ont été produits et testés par des équipes de recherche (Cupal *et al.* 1993, Brun *et al.* 1994). Parallèlement, une firme canadienne (Lotek Engineering Inc.) a développé puis commercialisé en 1993 un équipement d'un poids plus raisonnable que les prototypes précités et utilisable sur les grands animaux (Rodgers et Anson 1994).

Dès 1996 nous avons choisi d'utiliser le GPS pour remplacer la radiolocalisation par VHF en usage dans l'unité depuis le début des années 70. Même si, cette technique a révolutionné les recherches sur l'occupation de l'espace par les animaux sauvages, elle ne peut délivrer des localisations aussi exactes et fréquentes que celles issues du GPS. De plus, cette technique est fort coûteuse en temps sur le terrain et ne permet de suivre qu'un nombre limité d'animaux simultanément ; par exemple six personnes sont nécessaires pour suivre 5 animaux, au maximum, pendant une période de 24 heures avec des localisations toutes les 15 minutes.

---

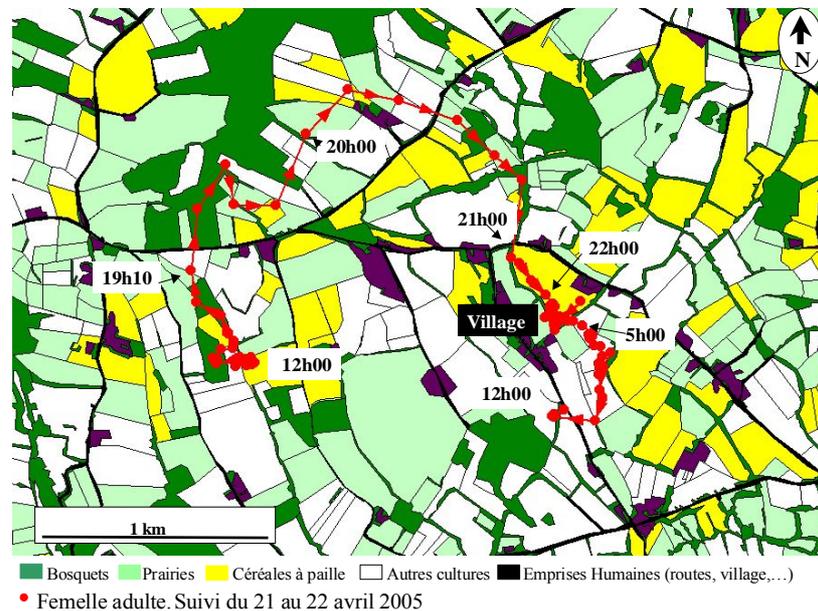
<sup>1</sup> INRA UR Comportement et Ecologie de la Faune Sauvage (CEFS) - Chemin de Borde Rouge, Auzeville, B.P. 52627 - 31326, Castanet-Tolosan Cedex ☎ 05 61 28 51 34, [georges.janeau@toulouse.inra.fr](mailto:georges.janeau@toulouse.inra.fr)

<sup>2</sup> VHF Very high frequency

## 1. Matériel et méthode

### 1.1 Principe général et fonctionnement du système

Le GPS est un système américain de localisation par satellites. Une constellation de 24 satellites actifs en orbite haute (un peu plus de 20 000 km) émettent en permanence des signaux. Ils permettent aux récepteurs GPS situés "sur terre" (au sol, en mer ou dans les airs) de calculer leur position géographique à tout instant  $t$ , à condition que les signaux de 3 satellites (pour une localisation en 2 dimensions -2D- : latitude, longitude) ou 4 satellites (pour une localisation en 3 dimensions -3D- : latitude, longitude et altitude), au minimum, soient perçus simultanément à cet instant  $t$ . Les plans orbitaux de ces satellites sont tels que, à tout instant et tout endroit sur la terre ou presque (99,6 % de la surface terrestre) il est possible de recevoir les informations d'au moins 4 satellites simultanément.



*Exemple d'un trajet journalier réalisé par une femelle chevreuil dans un milieu fragmenté (localisations réalisées toutes les 10 minutes).*

### 1.2 Exactitude des localisations et mode d'utilisation des GPS

Dans sa version militaire, ce système permet des localisations avec une exactitude de l'ordre du mètre. Dans ses applications civiles, il permettait officiellement une exactitude des localisations de l'ordre de 100 mètres, avant la suppression au mois de mai 2000 d'un système de dégradation des performances imposé par les militaires, système appelé Selective Availability (SA) qui intervenait de façon aléatoire. L'utilisation du GPS en mode différentiel, ou DGPS, permettait aux appareils civils de corriger ce SA et de revenir à une exactitude de l'ordre de quelques mètres, mais au prix d'une importante complication du système (matériel et logiciel). Depuis la suppression du SA, l'exactitude pour le matériel civil en mode non différentiel est de l'ordre de 15 à 30 mètres.

Le principe de fonctionnement en mode différentiel repose sur l'intégration au système d'un récepteur GPS de position fixe et connue (station de référence) : la dégradation aléatoire due au SA, lorsqu'elle se produisait, était reçue simultanément par les récepteurs GPS de position variable (par exemple portés par un animal) et par le récepteur de référence de position fixe.

Dès la récupération des données (*pseudoranges*) qui permettait de calculer les localisations du collier porté par l'animal, le post-traitement différentiel consistait en la comparaison simultanée des *pseudoranges* reçues par la station de référence avec les *pseudoranges* acquises par le collier GPS. Naturellement, cette correction différentielle réalisée par un logiciel spécifique, ne peut se faire que si la station de référence et les GPS embarqués sur les animaux ont reçu en commun les informations en provenance des mêmes satellites. Plus la distance entre la station de référence et les GPS des animaux est grande et plus le risque de ne pas recevoir en commun les informations des mêmes satellites augmente.

Malgré la suppression du SA nous avons choisi de conserver le mode différentiel car il permet toujours d'obtenir de meilleurs résultats en terme d'exactitude des localisations (Moen *et al.* 1997, Rempel et Rodgers 1997, Janeau *et al.* 1998, 2001b, Adrados *et al.* 2002). En effet le mode différentiel permet de corriger d'autres sources d'erreur comme celles qui sont liées aux délais de traversée des signaux émis par les satellites dans l'ionosphère et la troposphère, les décalages de temps possibles entre les horloges au césium des satellites et les « *timers* » des récepteurs GPS, les erreurs d'éphémérides...

Toutes les localisations acquises, malgré ce traitement en différentiel, n'ont pas la même qualité en terme d'exactitude. Avant d'être considérées comme « localisations exploitables » les localisations sont triées en fonction de leur statut à savoir celles obtenues en 2D (2 dimensions : latitude, longitude) en théorie les moins exactes et en 3D (3 dimensions : latitude, longitude et altitude) les plus exactes ainsi que d'un indice de la géométrie des satellites désigné sous le sigle DOP (plus cet indice est faible et plus l'exactitude de la localisation est grande). Ainsi, et après avoir réalisé nos propres tests d'exactitude des localisations (Janeau *et al.* 2001b, Adrados *et al.* 2002) et les avoir comparés à ceux obtenus par d'autres équipes (disponibles dans la littérature), nous ne considérons comme « localisations exploitables » que les localisations en 3D dont les DOP sont inférieures à 10 et les localisations en 2D dont les DOP sont inférieures à 5.

### **1.3 Programmation des GPS**

La programmation des GPS consiste, à l'aide d'un logiciel spécifique à chaque type de récepteur GPS, à fixer les temps d'acquisition des localisations. Le programme est chargé dans le GPS via une unité de commande filaire. Suivant le type d'appareil, l'intervalle de temps entre localisations successives peut être variable (de 5 minutes à 6 heures). Il est possible de faire varier cet intervalle de temps pour un jour donné et également d'un jour à l'autre, voire de fixer l'heure et la minute de chaque localisation souhaitée. Sur certains appareils il est aussi possible de programmer un ou plusieurs jours par semaine sans localisations. Ce programme ne pourra pas être modifié dans le cas d'un collier GPS non pourvu d'un modem de communication radio. Si le collier possède un modem il est possible d'envoyer un nouveau programme en fonction des besoins de l'utilisateur.

### **1.4 Potentiel de localisations et durée de fonctionnement des colliers GPS**

Le nombre potentiel de localisations qu'un collier GPS va pouvoir acquérir dépend de l'énergie électrique embarquée (sous forme de piles au lithium). Cette énergie est nécessaire pour subvenir tout à la fois au temps de travail d'acquisition des signaux des satellites, au temps nécessaire à la transmission des données par modem radio UHF<sup>3</sup> ou par ARGOS, au temps de veille des modules des instruments d'acquisition et de transmission et non pas à la capacité mémoire pour stocker les informations. Qui dit piles, dit poids et volume, ce qui

---

<sup>3</sup> UHF ultra high frequency

signifie que plus on embarque d'énergie, plus le poids du collier augmente, mais cela autorisera un nombre potentiel de localisations plus élevé. Comme nous travaillons sur le comportement des animaux, notre souci est avant tout d'optimiser le confort de l'animal et de diminuer au maximum les risques de perturbations imposées par l'équipement. S'il est admis dans la littérature qu'un mammifère terrestre peut supporter un équipement représentant 5% de son poids, nous avons choisi d'être nettement en dessous de cette valeur.

### 1.5 Equipements complémentaires des colliers

Tous les colliers GPS que nous utilisons sont équipés d'un émetteur VHF classique qui permet de venir au contact de l'animal (pour observation visuelle, recapture par télé-anesthésie, téléchargement par modem) ou de retrouver un collier après le fonctionnement du système automatique ou télécommandé d'ouverture du collier appelé *drop-off*. Ces colliers sont équipés également d'un capteur de mortalité qui déclenche un signal d'alarme de l'émetteur VHF en cas d'immobilité supérieure à un nombre d'heures que nous pouvons programmer, d'un capteur d'activité et de température ambiante dont les informations sont enregistrées dans une mémoire embarquée.

## 2. Résultats

Il serait illusoire de vouloir présenter l'ensemble des résultats obtenus et leur implication dans la réalisation des objectifs scientifiques de notre unité dans un document aussi court. Nous avons choisi de donner deux exemples de performances d'un type de collier GPS utilisé en mode différentiel.

Les utilisateurs de banques de données de localisations ont besoin de connaître leur exactitude. Les critères les plus souvent utilisés sont le statut de la localisation (2D ou 3D) et la DOP (**tableau 1**). Des tests sont nécessaires pour chaque type de collier utilisé. Par exemple des colliers dotés de nombre de canaux différents pouvant aller de 6 à 16 canaux.

		Pourcentage de localisations					
		2D			3D		
Sans SA	Erreur	DOP<5	5≤DOP<10	DOP≥10	DOP<5	5≤DOP<10	DOP≥10
		< 5m	88.9	0	0	70.4	66.5
	< 10m	100	50	50	98.2	94.0	80.2
	< 30m	100	50	75	100	100	97.3
	<i>erreur max (m)</i>	<i>9.8</i>	<i>48.3</i>	<i>61.9</i>	<i>12.5</i>	<i>17.9</i>	<i>171.8</i>
	<i>n</i>	<i>9</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>280</i>	<i>248</i>	<i>111</i>

**Tableau 1** : Pourcentages cumulés de localisations lors des tests en point fixe (colliers GPS différentiels, 8 canaux), sans Selective Availability (sans SA), en fonction du statut de la localisation (2D, 3D) et de la DOP (DOP<5, 5≤DOP<10, DOP≥10).

Un des facteurs dont l'influence est négative sur le taux d'acquisition des localisations est le phénomène d'obstruction qui réside dans le fait que les signaux émis par le satellite peuvent être masqués par des obstacles au récepteur GPS. Il peut s'agir d'obstructions topographiques (montagne, paroi, canyon...) ou liées à la végétation forestière (hauteur, diamètre et densité des arbres, présence de feuilles, d'eau ou de neige sur les feuilles...).

Pour évaluer ce phénomène d'obstruction, des tests d'acquisition sont réalisés pour chaque zone d'étude. Ils permettent de connaître les zones où les localisations sont sous estimées. Voici dans le **tableau 2** ci-après un exemple de l'influence de la taille des arbres dans 7 milieux.

Type d'habitat	Hauteur moyenne des arbres en m	Diamètre moyen des arbres en cm	n	Collier GPS % échec	8 canaux % 2D	% 3D
Milieu ouvert	-	-	51	0.0	9.8	90.2
Hêtraie	16.6	11.3	101	1.0	18.8	80.2
Hêtraie	21.0	21.6	101	1.0	39.6	59.4
Pinède	20.7	27.5	43	0.0	34.9	65.1
Conifères mélangés	10.6	14.4	43	9.3	25.6	65.1
Mélange épicéas/sapins	23.5	47.6	43	27.9	60.5	11.6
Mélange épicéas/sapins	26.1	64.8	47	25.5	61.7	12.8

**Tableau 2 :** Succès des localisations comparés dans sept types d'habitat. Résultats obtenus par des simulations avec un collier GPS 8 canaux transporté par les observateurs à une vitesse de 2 à 3 km/h dans chaque type d'habitat avec un rythme d'acquisition des localisations toutes les 5 mn.

## Conclusion et perspectives

L'évolution des composants (miniaturisation, moindre consommation électrique...) réduit l'encombrement des GPS, limitant ainsi les risques de perturbation comportementale d'un équipement qui devient utilisable sur des espèces de plus petite taille. La multiplication de l'offre (actuellement plus d'une douzaine de fabricants) abaisse le coût des colliers qui deviennent plus accessibles aux équipes de recherche. En 10 ans, le prix d'un collier GPS complet (avec modem UHF) est passé d'environ 8 000 € à environ 3 500 € ; le poids a diminué de 1,9 kg pour les premières versions à moins de 0,8 kg pour un potentiel de localisations qui a crû de 3 500 à plus de 12 000.

Les problèmes d'obstructions liées à la topographie (Girard *et al.* 2002) quantifiable par Système d'Information Géographique (SIG), à la hauteur des arbres et à la densité des milieux forestiers auront toujours une incidence négative sur le taux de réussite des localisations (Rempel *et al.* 1995, Edenius 1997, Janeau *et al.* 1998, 2001a, 2004, Dussault *et al.* 1999) ; cela entraîne une sous-estimation de l'utilisation de ces milieux par les animaux (qu'il est possible de quantifier par des tests de performances des colliers GPS dans ces milieux).

Il reste surtout primordial de rendre plus performants les systèmes d'ouverture des colliers (*drop-offs*) pour ne pas perdre les colliers et les données qu'ils contiennent (dans le cas des colliers non équipés de possibilités de transmission). Malgré un taux d'ouverture plus élevé avec les nouvelles générations de *drop-offs*, surtout avec les modèles télécommandés, des progrès indispensables sont attendus.

Avoir fait partie des « pionniers » de l'utilisation de GPS, pour localiser les mammifères sauvages, nous a permis d'acquérir une sérieuse expérience technique et un réel savoir-faire (surtout en mode différentiel). A présent le challenge est scientifique, car nous disposons désormais de jeux de localisations considérables dont l'analyse occupe plusieurs chercheurs et

étudiants. L'investissement financier a été très important mais l'utilisation de GPS a permis de réduire de plus de 95% l'investissement humain sur le terrain par rapport aux localisations VHF, qui ne nous aurait jamais livré des données de même qualité et en aussi grande quantité.

## Bibliographie

- Adrados C, Girard I, Gendner JP, Janeau G (2002) Global Positioning System (GPS) location accuracy improvement due to Selective Availability removal. *C. R. Biol.*, 325 : 165-170.
- Brun JP, Vimal T, Brelurut A, Thériez M (1994) Un capteur de position géographique : GPS. *Compte rendu des IIIèmes Journées de la Mesure*. INRA, Ronces-les-Bains, France : 151-156.
- Cupal JJ, Lacy LJ, Lindzey FG (1993) A GPS animal tracking system. *in : Biotelemetry XII*, Mancini P., Fioretti S., Cristalli C. & Bedini R., Litografia Felici, Italy : 298-304.
- Dussault Ch, Courtois R, Ouellet JP, Huot J (1999) Evaluation of GPS telemetry collar performance for habitat studies in the boreal forest. *Wildl. Soc. Bull.*, 27(4) : 965-972.
- Edenius L (1997) Field test of a GPS location system for Moose *Alces alces* under Scandinavian boreal conditions. *Wildl. Biol.* 3 : 39-43.
- Girard I, Adrados C, Peracino A, Martinot JP, Bassano B, Janeau G (2002) Feasibility of GPS use to locate wild ungulates in high mountain environment. *Pirineos, J. Mount. Ecol.*, 157 : 7-13.
- Janeau G, Angibault JM, Cargnelutti B, Joachim J, Pépin D, Spitz F (1998) Le Global Positioning System (GPS) et son utilisation (en mode différentiel) chez les grands mammifères sauvages. *Arvicola, Actes "Amiens 97"* : 19-24.
- Janeau G, Adrados C, Joachim J, Pépin D (2001a) GPS performance in a temperate forest environment. *in : Tracking animals with GPS*. Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen : 69-72.
- Janeau G, Adrados C, Girard I (2001b) Is it still necessary to use GPS differential mode since the elimination of selective availability ? *in : Tracking animals with GPS*. Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen : 73-75.
- Janeau G, Adrados Ch, Joachim J, Gendner JP, Pépin D (2004) Performance of differential GPS collars in temperate mountain forest. *C. R. Biol.*, 327 : 1143-1149.
- Moen R, Pastor J, Cohen Y (1997) Accuracy of GPS telemetry collar locations with differential correction. *J. Wildl. Manage.*, 61(2) : 530-539.
- Rempel RS, Rodgers AR, Abraham KF (1995) Performance of a GPS animal location system under boreal forest canopy. *J. Wildl. Manage.*, 59(3) : 543-551.
- Rempel RS, Rodgers AR (1997) Effects of differential correction on accuracy of a GPS animal location system. *J. Wildl. Manage.*, 61(2) : 525-530.
- Rodgers AR, Anson P (1994) Animal-borne GPS : tracking the habitat. *GPS World*, 5 : 20-32.